Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 74 (1956)
Heft: 49

Artikel: Kernenergie-Reserven
Autor: Houtermans, F.G.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-62756

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

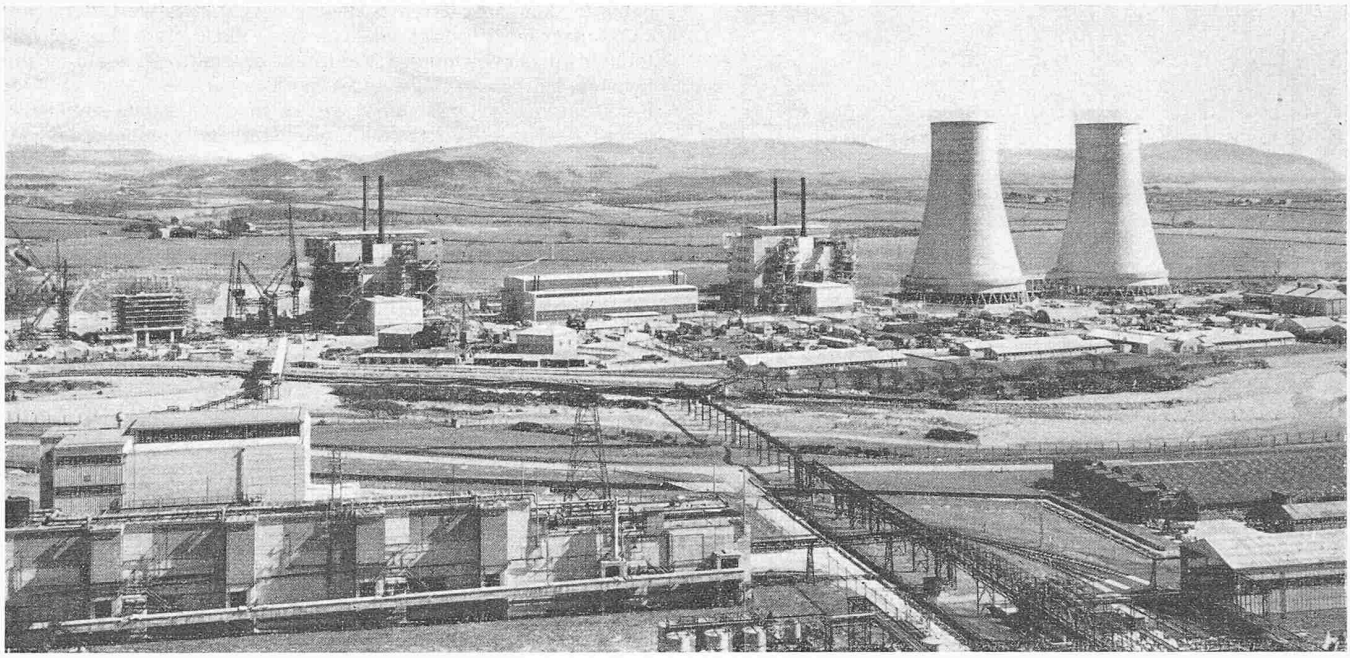

Bild 13. Gesamtübersicht der Anlage Calder Hall während des Baues. Im Mittelgrund die beiden Reaktorgebäude, dazwischen die Kraftzentrale, rechts davon die beiden Kühltürme für das Rückkühlen des Kühlwassers für die Turbinenkondensatoren, im Vordergrund Teile der chemischen Fabrik für die Regenerierung der Spaltstoffstäbe

hier an möglichst grossen Leistungen interessiert, weil sich dadurch niedrigere Gestehungskosten der erzeugten elektrischen Energie ergeben. Grössere Reaktorleistungen verlangen aber ein grösseres Volumen des Druckbehälters. Mit dem Durchmesser wächst bei einem gegebenen Arbeitsdruck des Kühlmittels auch die Wandstärke. Diese lässt sich aber mit Rücksicht auf die Sicherheit der Schweissnähte nicht beliebig vergrössern. Auch das dadurch sich erhöhende Gewicht stellt bedeutende Probleme im Hinblick auf die Unterstützung, insbesondere auf das Ueberleiten der sehr grossen Lasten von der Behälterwandung auf die Stützen. Man könnte wohl den Gasdruck erniedrigen, müsste dann aber die Antriebsleistung der Gebläse wesentlich erhöhen, was den Wirkungsgrad beeinträchtigen würde.

Auf Grund von Erfahrungen erachtete man bei der Anlage Calder Hall Wandstärken von über 2″ (50,8 mm) als nicht mehr zulässig, wenn die Blechteile an Ort und Stelle mit genügender Sicherheit zusammengeschweisst werden müssen. Hieraus ergab sich die zulässige Grösse des Druckbehälters. Man hätte allerdings einen kugelförmigen Behälter noch grösser bauen können; ja, der Durchmesser liesse sich so fast verdoppeln. Den dadurch erzielten Vorteilen wären aber Nachteile gegenüber gestanden. So wäre die Abstützung des Graphit-Moderators sehr schwierig gewesen, und die Ausführung der biologischen Abschirmung aus Beton hätte bei gleicher Wärmeleistung erheblich mehr gekostet.

Eine dritte Kenngrösse ergibt sich aus den Eigenschaften des Kühlmittels. Dieses muss sich bei allen vorkommenden Temperaturen mit den Baustoffen vertragen, aus denen die einzelnen Teile des Kreislaufs hergestellt sind. In extremen Fällen muss dies auch mit dem Spaltstoff der Fall sein. Geringe Neutronen-Absorption und moderierende Eigenschaften sind zu berücksichtigen. Wichtig ist auch die chemische Stabilität und die leichte Erhältlichkeit. Dazu kommen noch anderweitige Forderungen. Meist muss man sich mit einem Kompromiss begnügen.

Obwohl Helium und Wasserstoff sehr vorteilhafte Eigenschaften aufweisen, wählte man in Calder Hall Kohlendioxyd als das am besten geeignete Kühlmittel. Es ist billig, überall leicht erhältlich, sein Wirkungsquerschnitt für Neutroneneinfang ist völlig befriedigend, es ist unter den in Calder Hall herrschenden Arbeitsbedingungen chemisch genügend stabil, und es reagiert nicht in irgendwie nennenswertem Masse mit dem Graphit des Moderators.

Die beschriebenen Reaktoren, die gegenwärtig gebaut werden, haben den Vorteil, dass sie grundsätzlich sicher sind und elektrische Energie in grossen Mengen und zu Kosten erzeugen können, die sich mit denen von modernen Kraftwerken der bisherigen Bauart vergleichen lassen, sofern ein Markt für Plutonium vorhanden ist. Sie verwenden, wie erwähnt, natürliches Uran als Spaltstoff, Graphit als Moderator und sind gasgekühlt. Sie stellen die erste Etappe des Britischen Programmes für die Erzeugung elektrischer Energie in industriellem Masstab dar.

Kernenergie-Reserven

DK 621.039:622.7

Von Prof. Dr. **F. G. Houtermans**, Bern

Das Problem der Energie-Reserven der Menschheit lässt einen Ausweg sehen, und das ist die Energie der Atomkerne. Wie Prof. *Rossel* ausgeführt hatte, stellt die Abweichung des Atomgewichts der Isotope der Elemente von der Massenzahl, der sogenannte Massendefekt, vermöge der Einsteinschen Beziehung

$$\Delta E = c^2 \Delta M$$

ein Mass für die Bindungsenergie der Kerne dar. Für die Beurteilung der Stabilität eines Isotops ist jedoch noch eine andere Grösse massgebend, nämlich der sogenannte Packungsanteil

$$p = \frac{A - M}{A}$$

wo M die Massenzahl und A das Atomgewicht, bezogen auf $O^{16}/_{16}$ bedeuten. Ist p positiv, so ist das entsprechende Element instabiler, ist es negativ, so ist es stabiler als Sauerstoff. In Bild 1 ist die Kurve des Packungsanteils als Funktion der Ordnungszahl für die Hauptisotope der Elemente gegeben. Aus ihr geht hervor, dass ein Minimum bei Eisen auftritt. Der Kern des Fe^{56} ist also die stabilste Form der Materie. Elemente unterhalb des Eisens können durch Aufbau-Reaktionen ihrer Kerne, sogenannte Fusionsprozesse, solche

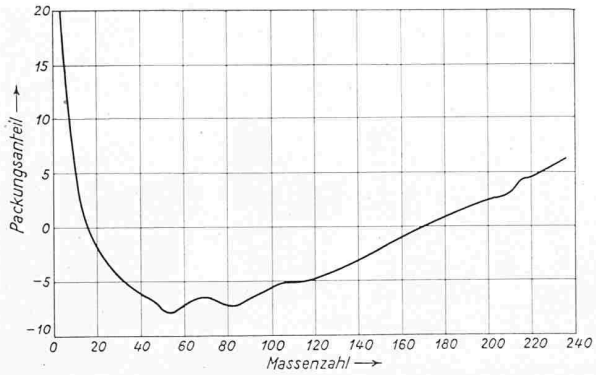

Bild 1. Packungsanteil als Funktion der Massenzahl (Bei den leichten Elementen wurden nur die geradzahligen Massenzahlen berücksichtigt)

oberhalb des Eisens durch Spaltungsreaktionen Energie liefern. Für die praktische Verwendbarkeit freilich kommt es nicht allein darauf an, dass eine Reaktion Energie liefert, sondern auch darauf, dass sie als Kettenreaktion ablaufen kann. Dass und in welcher Weise die Spaltung der schweren Kerne von U^{235}, Pu^{239} und U^{233} durch Reproduktion der Neutronenzahl zu einer Kettenreaktion führen kann, hat u. a. Dr. *W. Dubs* in seinem Vortrag gezeigt (s. dort Bild 1).

Aber schon seit 1928 kennen wir eine andere Art von Kernreaktionen. Damals konnten Atkinson und der Referent zeigen, dass bei Temperaturen von etwa $2 \cdot 10^7$ Grad, wie sie im Innern der Sonne und andern Fixsternen herrschen, Aufbau-Reaktionen an leichten Kernen möglich sind, und sie konnten wahrscheinlich machen, dass die von der Sonne abgestrahlte Energie von einem Reaktionszyklus erzeugt wird, durch den sukzessive vier Wasserstoffkerne zu Helium aufgebaut werden. Während wir damals mehr an einen Reaktionszyklus dachten, der zum Be^8 führt, für dessen Instabilität Anzeichen vorlagen, konnten Bethe und von Weizsäcker einen Reaktionszyklus am Kohlenstoff C^{12} angeben, der sukzessive vier Protonen einfängt und wieder zum C^{12} unter Bildung eines He-Kerns führt. Dieser Zyklus kann im chemischen Sinne also als ein am C^{12} ablaufender katalytischer Prozess betrachtet werden. Dieser Kern-Prozess wird heute von den Astrophysikern einhellig als die Energiequelle der meisten Fixsterne angenommen. Man nennt solche Reaktionen, bei denen die thermische Energie hinreichend hoch ist, um eine Aufbaureaktion als Kettenreaktion ablaufen zu lassen, thermonukleare Reaktionen. Eine künstlich eingeleitete thermonukleare Reaktion ist die Explosion einer Wasserstoffbombe, bei der durch eine Uranbombe kurzzeitig eine so hohe Temperatur erzeugt wird, dass es zu einer explosiven Aufbaureaktion an leichten Kernen kommt. Es ist überaus traurig, dass diese erste Anwendung künstlicher thermonuklearen Reaktionen militärischer Natur ist.

Allen thermonuklearen Reaktionen ist *ein* Zug gemeinsam: die Energieerzeugung geht vor sich in einem sehr eng begrenzten Energie-Intervall; sie stellt also einen nahezu monochromatischen Effekt dar. Die Wahrscheinlichkeit des Eindringens eines geladenen Teilchens in einen Kern ist nämlich durch die Wahrscheinlichkeit der Durchdringung durch die Potentialschwelle des Kerns, den sogenannten Gamow-Faktor gegeben, der sehr steil mit wachsender Energie der stossenden Teilchen zunimmt. Die Zahl der Stösse hingegen, die mit einer gegebenen Energie erfolgen, fällt jenseits des Maximums der Maxwellverteilung sehr steil mit zunehmender Energie ab. Die Stösse aber, die zur Kernreaktion führen,

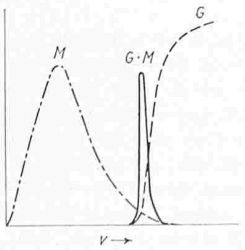

Bild 2. Selektivität der Energieerzeugung bei themonuklearen Reaktionen

M: Maxwell-Verteilung
G: Eindringungswahrscheinlichkeit (Gamow-Faktor)

gehören dem äussersten Schwanz der Maxwellverteilung an; daher hat das Produkt von Gamow-Faktor und Maxwellverteilung ein sehr schmales Maximum oberhalb der wahrscheinlichsten Energie für die gegebene Temperatur (Bild 2). Jede Reaktionsenergie lässt sich, wie es in der Chemie üblich ist, in cal/g oder in Elektronvolt pro Nukleon angeben; am einfachsten ist es, das Verhältnis des Massenäquivalents der Reaktionsenergie zur Masse des Reaktionspartners anzugeben. Für die energiereichsten Reaktionen der Chemie beträgt dieser Massenverlust bei der Reaktion etwa 10^{-10}. Dies ist die Ursache, warum man vom Gesetz der Erhaltung der Masse gesprochen hat. In Tabelle 1 sind die Reaktionswärmen einiger chemischer, einiger Kernreaktionen und die der Uranspaltung in den genannten Einheiten angegeben.

Tabelle 1. Reaktionswärmen einiger Verbrennungsprozesse und einiger Kernreaktionen

Reaktion	Reaktionsenergie Q/M in cal/g	MeV/Nucl. masse	Q/Mc^2
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	$8 \cdot 10^3$	$3{,}46 \cdot 10^{-7}$	$3{,}7 \cdot 10^{-10}$
$H_2 + {}^1/_2 O_2 \rightarrow H_2O$	$2{,}9 \cdot 10^4$	$1{,}27 \cdot 10^{-6}$	$1{,}4 \cdot 10^{-10}$
$4\,H^1 \rightarrow {}^2He^4$	$1{,}62 \cdot 10^{11}$	7,05	$7{,}56 \cdot 10^{-3}$
${}^1D^2 + {}^1D^2 \rightarrow p + {}^1H^3$	$1{,}94 \cdot 10^{10}$	0,85	$0{,}91 \cdot 10^{-3}$
${}^1D^2 + {}^1D^2 \rightarrow n + {}^2He^3$	$1{,}86 \cdot 10^{10}$	0,81	$0{,}87 \cdot 10^{-3}$
${}^3Li^7 + {}^1H^1 \rightarrow 2\,{}^2He^4$	$5{,}64 \cdot 10^{10}$	2,45	$2{,}64 \cdot 10^{-3}$
U^{235} Spaltung	$1{,}75 \cdot 10^{10}$	0,76	$0{,}82 \cdot 10^{-3}$
Positronium	$2{,}15 \cdot 10^{10}$	—	1

Für das Positronium ist, da hier Materie völlig zerstrahlt wird, das Verhältnis $Q/Mc^2 = 1$. Das gleiche gilt allgemein für ein Paar von Teilchen und Antiteilchen.

Gestatten Sie mir nun, einige Worte zu dem viel diskutierten Problem der Möglichkeiten von kontrollierten Fusionsreaktoren zu sagen. Sie haben gesehen, dass wir eigentlich alle Energie, die wir auf der Erde erhalten, einem Fusionsreaktor im Innern der Sonne verdanken, bei dem Wasserstoff zu Helium «verbrennt». Schon lange bevor von der künstlichen Erzeugung thermonuklearer Reaktionen die Rede war, ja lange bevor die Uranspaltung bekannt war, bin ich immer wieder gefragt worden, ob es nicht möglich sei, Reaktionen wie z. B. die beim Zusammenstoss von zwei Kernen des schweren Wasserstoffs, die sogenannte D,D-Reaktion, zur Energieerzeugung auszunutzen. Bei einer thermonuklearen Reaktion, wie sie in der Sonne vor sich geht, wird die für den Ablauf der Reaktion nötige Temperatur durch die Energieerzeugung bei der Reaktion selbst aufrecht erhalten. Der Vorgang ist ganz analog demjenigen beim Verbrennen von Kohle oder einer Wachskerze. Auch hier ist für den Ablauf der Reaktion eine gewisse Temperatur erforderlich und diese wird durch die gelieferte Reaktionsenergie aufrecht erhalten. Für thermonukleare Reaktionen aber sind die Reaktionstemperaturen von der Grössenordnung von 1 bis 10 Millionen Grad, und wir kennen keine Materialien, die solche Temperaturen aushalten. Ein Fusionsreaktor, der stationär, d. h. bei konstanter Temperatur laufen soll, müsste gasförmige Wände haben, wie das in den Fixsternen der Fall ist. Die Temperatur im Innern eines Körpers wird um so höher, je geringer das Verhältnis Oberfläche/Volumen ist. Das Gesamtvolumen eines solchen Reaktors müsste also, damit thermonukleare Reaktionen stationär darin ablaufen, mindestens von der Grössenordnung eines kleineren Himmelskörpers sein.

Wir kennen aber auch mit chemischen Mitteln betriebene Wärmekraftmaschinen, in denen die Verbrennung, wie z. B. in einem Benzinmotor, bei sehr hoher Temperatur nur kurzfristig erfolgt, während die für die Dissipation der Reaktionsenergie zur Verfügung stehende Zeit wesentlich länger ist. Ein Fusionsreaktor wird, aller Wahrscheinlichkeit nach, auch dieses Prinzip benützen müssen, d. h. die Reaktion wird in ihm pulsierend verlaufen müssen. Das gleiche lässt sich auch durch Fortpflanzung einer Stosswelle in einem Reaktionsvolumen denken, derart, dass an einer Stelle das Versuchsvolumen nur für sehr kurze Zeit die für den Ablauf von Kernreaktionen erforderliche Temperatur erreicht. Es sind eine ganze Reihe von Möglichkeiten denkbar, wie z. B. geeignet geformte Magnetfelder, die das Entweichen von schnel-

len geladenen Teilchen aus einem Versuchsvolumen verhindern. In einigen Ländern wird sehr eifrig an den Problemen der Magneto-Hydrodynamik von Gasentladungen gearbeitet, in der Absicht, dieses Ziel zu erreichen. Auch an einen, vielleicht in pulsierendem Betrieb arbeitenden Reaktor, in dem zwei Ionenstrahlen der Reaktionspartner aufeinander geschossen werden, ist gedacht worden. Meines Wissens ist das Problem des kontrollierten Fusionsreaktors bis heute noch nicht gelöst, wenn gleich es sehr nahe der Lösung sein kann.

Die naheliegendsten Reaktionen, für die Fusionsreaktoren am aussichtsreichsten erscheinen, sind diejenigen, die Deuterium oder gar Tritium als Reaktionspartner benützen. Legt man den heutigen Preis des schweren Wassers zugrunde, so wäre der Preis der kWh heute noch mindestens 20 bis 50 mal höher als bei einem Uran- oder Thorium-Reaktor, der den Breedingprozess ausnützt. Freilich ist hier zu sagen, dass die Kosten der Abtrennung seltener Isotope heute sehr viel höher liegen als sie prinzipiell sein müssten. Für die Abtrennungsarbeit der Isotope ist ja prinzipiell nur die Entmischungsarbeit massgebend, die sich thermodynamisch ergibt. Wir haben es hier also nicht mit einem prinzipiell notwendigen Energieaufwand für die Isotopentrennung zu tun; vielmehr ist der Energieaufwand bei den heutigen Anordnungen nur deshalb so gross, weil fast alle Trennanalysen mit sehr geringen Trennfaktoren arbeiten. Es ist also auch bei der Anwendung seltener Isotope für einen etwaigen Fusionsreaktor noch nicht das letzte Wort gesprochen.

Sollten sich aber die Kosten der Abtrennung von Deuterium nicht ganz wesentlich erniedrigen lassen, so käme als Energiequelle für Fusionsreaktoren wohl nur die Lithium-Reaktion

$$^{3}Li^{7} + {}^{1}H^{1} \rightarrow 2\ {}^{2}He^{4}$$

in Frage, die keine Abtrennungskosten für seltene Isotope erfordert.

Das Hauptproblem eines Fusionsreaktors wird in jedem Falle ein Regelungsproblem sein. Durch irgend einen Mechanismus wird nämlich, wie dies ja auch in den Spaltungsreaktoren der Fall ist, dafür gesorgt werden müssen, dass der Ablauf der Reaktion gestoppt wird, sobald die Temperatur im Versuchsvolumen eine gewisse Höhe überschreitet. Welche Kosten diese sehr kritische Regelung erfordern wird, lässt sich heute noch überhaupt nicht absehen. Bei den mit Spaltprozessen arbeitenden Reaktoren stehen uns hierfür die «verzögerten Neutronen» zur Verfügung, die das Regelungsproblem zeitlich ausserordentlich vereinfachen. Bei Fusionsreaktoren ist nicht mit einem solchen Sicherheitsfaktor zu rechnen, was das Problem der technischen Anwendung im Grossbetrieb möglicherweise im entsprechenden Masse erschweren und den Betrieb verteuern wird.

Zum Schluss dieses Abschnitts möchte ich noch kurz zu der häufig gestellten Frage Stellung nehmen, ob es sich überhaupt lohne, mit grossen Mitteln an das Problem der Spaltungsreaktoren, die U^{235}, Pu^{239} oder U^{233} ausnützen, heranzugehen und ob nicht eine solche Entwicklung und die damit verbundenen Investitionen sehr bald durch das Gelingen von Fusionsreaktoren überflüssig gemacht werden. Mir persönlich scheint bei dem immer wachsenden Energiebedarf eine Haltung des untätigen Wartens auf den Fusionsreaktor vollkommen unrichtig zu sein. Bei der Ausnützung der Kernenergie handelt es sich viel weniger um ein Rohstoffproblem, oder ein technologisches Problem, als um ein Problem des Personals und vor allem des Nachwuchses. Der wichtigste Rohstoff der Kernenergie ist der Mensch, d. h., wir brauchen eine grosse Zahl von geschulten Radiologen, Physikern, Chemikern, Mechanikern und Ingenieuren, die mit dem Gebiete der Ausnützung der Kernenergie vertraut sind. Der hemmende Faktor ist in allen Ländern das Nachwuchsproblem. Eine Umstellung von «fission» zu «fusion» wird, wenn sie nötig ist, viel schneller vor sich gehen können als man denkt, wenn wir einen genügend grossen Personenkreis haben werden, der mit dem Umgang mit Problemen der Atomenergie vertraut ist.

Der Energieverbrauch eines erwachsenen Menschen, den wir als Nahrung aufnehmen, beträgt etwa 3000 kcal pro Tag, das heisst, der menschliche Körper ist ein Motor mit einer durchschnittlichen Dauerleistung von etwa 145 Watt. Der Energieverbrauch pro Kopf der Bevölkerung ist von Land zu Land sehr unterschiedlich, für die Vereinigten Staaten beträgt er etwa 8 kW pro Kopf der Bevölkerung, für die Schweiz würde man ihn zu etwa 3 kW pro Kopf abschätzen. Hierin ist der gesamte Verbrauch, auch der aus Kohle, Erdöl, Wasserkraftwerken einschliesslich des Verbrauchs für die Verarbeitung von Rohstoffen eingeschlossen. Das bedeutet, dass der Energieverbrauch bei uns so gross ist, wie wenn jeder Mensch etwa 21 Sklaven hätte, die für ihn arbeiten!

Fragen wir uns nun, was uns an Reserven zur Verfügung steht. Noch im Jahre 1950 wurde der sichtbare Vorrat an Uranvorkommen uranreicher Erze zu nur 58 000 t Uran geschätzt. Wir haben von Dr. Rometsch gehört, dass heute die Jahresförderung an Uran zu 10 000 t geschätzt wird, und die neueren Schätzungen der Vorräte liegen auch wesentlich höher. So gibt Putnam die Reserven an Uran, die in «reichen» Erzen liegen, zu etwa 23 Mio t an. Dabei wollen wir mit «reich» solche Erze bezeichnen, die mehr als 1 Promille Uran enthalten. Das ist ein Energievorrat, der, wenn ich das Gelingen des Breeding in technischem Masstab voraussetzen kann und die gegenwärtigen Bevölkerungszahlen annehme, für etwa 3000 Jahre reichen dürfte.

Das sind ja nun recht optimistische Schätzungen, denn wir wissen, dass der Energieverbrauch pro Kopf der Bevölkerung sehr stark ansteigt. Dies ist besonders in den industriell unterentwickelten Ländern der Fall. Ebenso steigt gerade in diesen Ländern (z. B. Indien) die Bevölkerungszahl viel schneller an als im Durchschnitt der Welt. Es ist geschätzt worden, dass sich der Energieverbrauch durchschnittlich alle zehn Jahre verdoppelt. Wir dürfen also nicht mit 3000 Jahren rechnen.

Ich möchte im folgenden einiges zur prinzipiellen Seite des Problems der Reserven an Uran und Thorium sagen, und zwar vom Standpunkt des Geochemikers aus. Als erste und wichtigste Forderung wollen wir annehmen, das «breeding» sei im technischen Masstab möglich; denn nur wenn dies gelingt, sind Uran und damit auch Thorium als Energiespender wirklich interessant. Es wäre völlig unangebracht, sich nur auf die Ausnutzung des U^{235} zu beschränken, das heisst also, das kostbare Uran sozusagen nur «auszulaugen». Deshalb sollten wir dem breeding-Problem, das prinzipiell heute schon gelöst ist, unsere höchste Aufmerksamkeit schenken. Für die folgenden Ausführungen will ich voraussetzen, dass das breeding in vollem Umfange gelinge, dass also die gesamte im Uran und Thorium steckende Energie der Spaltungsreaktion eines Tages verfügbar sei. Was haben wir als verwertbares Uran- oder Thoriumerz anzusehen? Vor hundert Jahren wurden als Kupfererze nur solche ausgebeutet, deren Kupfergehalt höher lag als 10 bis 20 %. Heute werden noch Materialien auf Kupfer ausgebeutet, deren Gehalt an Kupfer 1 ‰ übersteigt. Wir müssen für die Beurteilung derartiger Probleme wohl unterscheiden zwischen der prinzipiellen geochemischen Gegebenheit einerseits und der technologischen Situation anderseits. Ich möchte hierfür einige Beispiele anführen: In der Schule habe ich gelernt, es sei unmöglich, schwefelhaltige Eisenvorkommen auszubeuten. Heute ist dieses technologische Problem längst gelöst, und der nebenbei anfallende Schwefel hat die Schwefelminen Siziliens zum grossen Teil ausser Betrieb gesetzt. Ein weiteres Beispiel: Auf der Weltausstellung in Paris 1889 wurden neben kleinen Gebrauchsgegenständen aus Platin und Iridium auch solche aus Aluminium gezeigt, die jedoch so schön und kostbar waren, dass einige Fürstenhöfe Europas anfragten, ob man nicht Kronen aus Alumium anfertigen könne. Aluminium ist geochemisch ein sehr häufig vorkommendes Element. Wer damals gesagt hätte, man solle doch Kochtöpfe und Zigarettenschachteln aus Aluminium anfertigen, hätte für verrückt gegolten. Inzwischen hat die Technologie das Problem der Reduktion des Aluminumoxyds gelöst. So ist es sehr oft: die Technologie löst ihre Probleme, wenn es prinzipiell möglich ist; die geochemische Gegebenheit aber bleibt bestehen.

Kehren wir zurück zum Uran. Wir hatten gesehen, dass 1 g Uran einem Energievorrat von $1{,}75 \cdot 10^{7}$ kcal/g repräsentiert, 1 g Thorium etwa den selben, wenn das Gelingen des breeding vorausgesetzt wird, gegenüber etwa 8 kcal/g für Kohle und etwa 10 kcal/g für Erdöl. Wir sehen also, dass metallisches Uran und Thorium, breeding vorausgesetzt, «Brennstoffe» sind, die etwa zwei Millionen mal mehr Energie pro Masseneinheit zu produzieren imstande sind als Kohle oder Erdöl. Natürlich gilt für jeden «Brennstoff», für Kohle

und Erdöl, wie für Uran und Thorium, dass nicht der Energie-Inhalt selbst für seine Rentabilität massgebend ist, sondern einmal der in freie Energie umsetzbare Anteil berücksichtigt werden muss, und zum anderen der Energieverbrauch für die Gewinnung des Rohstoffes und sein Transport zum Verbraucher. Sowohl die klassische chemische Brennstoffe verwertenden Energiespender wie die Spaltungsreaktoren stehen in Verbindung mit Wärmekraftmaschinen zur Gewinnung freier Energie, sind also prinzipiell durch den Wirkungsgrad des Carnotschen Kreisprozesses begrenzt. Für Spaltungsreaktoren, in denen primär die Energie durch Elementarteilchen in der Grössenordnung von 80 MeV entsteht, ergibt dieses Verfahren relativ genommen, d. h. vom Entropiestandpunkt gesehen, eine sehr schlechte Ausbeute. Hier ist ein weites Feld für eine künftige technologische Entwicklung: das Problem besteht darin, die Energie der Spaltprodukte günstiger in freie Energie umzusetzen als auf dem Umweg über Wärmekraftmaschinen, die bei einer Temperatur von etwa 200 ° C arbeiten, also nach Carnot einen Wirkungsgrad von bestenfalls 38 % haben. Dennoch scheint es mir heute weniger wichtig, darüber nachzudenken, ob sich eine Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades, etwa durch Anwendung von flüssigem Natrium als Kühlsubstanz, um einige 20 % erzielen lässt, solange das Gelingen des breeding uns einen Faktor 139 statt eines Faktors 1,2 bringen kann.

Wir wollen im folgenden voraussetzen, dass der Wirkungsgrad der Gewinnung freier Energie für Spaltungsreaktoren für die nähere Zukunft etwa der gleiche sein wird wie für die heute üblichen Wärmekraftmaschinen. Freilich ist zugunsten der Kernspaltstoffe anzuführen, dass, da im Gegensatz zu Kohle- und Oelkraftanlagen ihr Verbrauch auf grosse Reaktoranlagen konzentriert sein wird, daher ein nicht unerheblicher Bruchteil der in Kühlmitteln verlorenen Wärme im Gegensatz zu den Verbrennungsbrennstoffen für Heizzwecke nutzbar sein wird.

Was den Energieverbrauch für den Transport zum Verbraucher anbelangt, so wissen wir in der Schweiz nur zu gut, dass dieser auch für Kohle und Erdöl nicht zu vernachlässigen ist. So beträgt der Transportpreis für Kohle und Erdöl bei Eisenbahntransport nach *Thirring* etwa $1{,}3 \cdot 10^{-5}$ Fr. pro km und kWh. Für Kernbrennstoffe hingegen spielen die Transportkosten wegen ihres 10^6 mal grösseren Energieinhalts überhaupt keine Rolle; sie sind etwa 300 000 mal geringer, auch bei Flugzeugtransport.

Die durchschnittliche Häufigkeit von Uran in den Gesteinen unserer Erdkruste ist nach *Keevil* 4 g pro t, gleich wie in dem häufigsten Gestein unserer Erdkruste, dem Granit, und die des Thoriums etwa das Dreifache. In Basalten beträgt die Häufigkeit des Urans etwa ¼, in Sedimentgesteinen etwa ⅓ bis ½ dieses Durchschnittswertes, wobei das Verhältnis Thorium zu Uran zwischen 3 und 5 variiert. Rechnet man diese Uran- und Thoriumgehalte in Energiegehalt um, wobei wieder das breeding vorausgesetzt wird, so ergibt sich ein überraschenes Resultat: es gibt praktisch kaum ein Gestein, das nicht wesentlich mehr Energie in Form von spaltbaren Materialien enthält als Kohle oder Erdöl. Für den Granit gilt bei dem Durchschnittsgehalt von 4 g U pro t, dass allein im Uran eine Energie enthalten ist, die dem neunfachen derjenigen von Kohle entspricht, und einschliesslich des Thoriums enthält ein kg eines Pflastersteins aus Granit die Energie von etwa 36 kg Kohle oder Erdöl. Wir haben es also hier mit einer prinzipiellen geochemischen Tatsache zu tun, wie in den früher erwähnten Fällen des Eisens aus schwefelhaltigen Erzen oder bei der Verwendungsmöglichkeit des Aluminiums. Die Frage der Wirtschaftlichkeit der Ausnutzung hängt davon ab, wie viel Energie gebraucht wird, um das Gestein derart aufzuarbeiten, dass daraus Uran und Thorium gewonnen werden kann. Es ist klar, dass diese Energien — die Zerkleinerungsarbeit sowohl wie die Energie zur chemischen Aufarbeitung — sicher nicht grösser sind als die doppelte Verbrennungswärme von Kohle des gleichen Gewichts. Sie sehen also, dass *prinzipiell* vom energetischen Standpunkt die gewöhnlichen Durchschnittsgesteine dank ihrem Gehalt an Uran und Thorium abbauwürdiger sind als die heute verwendeten fossilen Brennstoffe. Dass das heute noch nicht geschieht, liegt lediglich daran, dass die grossen Länder noch über hinreichende Lagerstätten reicher Erze verfügen, und unter den gegenwärtigen politischen Bedingungen nicht bereit sind, davon abzugeben. Diese Bedingungen sind aber schnell veränderlich. Ich bin oft gefragt worden, ob es sich denn für ein Land, das wie die Schweiz über keine Lagerstätten reicher Uranerze zu verfügen scheint, nicht zu riskant sei, seine Energiewirtschaft auf einen Rohstoff umzustellen, von dem keine reichen Lagerstätten im Lande selbst vorhanden sind. Hierauf ist zu antworten, dass es mit Kohle und Erdöl nicht anders ist, vor allem aber, dass unsere Flüsse aus dem Kristallin des Aaremassivs Mengen von Gestein allein im Brienzersee alljährlich abtagern, die durch ihren Uran- und Thoriumgehalt den Energiebedarf von ganz Europa etwa hundertfach übersteigen. Die bei Meiringen abgelagerte Menge an Gestein wird auf jährlich 300 000 t geschätzt. Rechnen wir mit einem Durchschnittsgehalt von 4 g pro t Uran und 12 g pro t Thorium, so repräsentiert das eine Menge von 1,2 t Uran und 3,6 t Thorium jährlich, bei voller Ausnutzung durch breeding also eine Energie von $9{,}5 \cdot 10^{10}$ kWh pro Jahr oder eine Dauerleistung von $11{,}5 \cdot 10^6$ kW, d. h. ungefähr den Energieverbrauch der gesamten Schweiz. Die in den Wasserkraftwerken der Aare ausgebeutete Energie der Wassermengen, die diese Gesteine mitbringen, beträgt demgegenüber maximal 650 000 kW. Wir hatten bisher mit dem Durchschnittsgehalt der Granite von 4 g pro t Uran und 112 g pro t Thorium gerechnet. In Wirklichkeit liegen aber die Verhältnisse noch viel günstiger, wenn wir das geochemische Verteilungsgesetz berücksichtigen, das zuerst von *Ahrens* formuliert worden ist. Nach dieser geochemischen Regel ist die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Konzentration eines seltenen Elementes im semilogarithmischen Masstab eine Gauss'sche Normalverteilung, d. h. die Wahrscheinlichkeit dafür, in einer willkürlich herausgegriffenen Probe eine gewisse Konzentration eines bestimmten seltenen Elements zu finden, ergibt, wenn man sie als Funktion des Logarithmus der Konzentration aufträgt, eine Gauss-Kurve. Formelmässig ausgedrückt bedeutet dies, dass die Wahrscheinlichkeit $W(c)$, eine Konzentration zwischen c und $c + dc$ zu finden, gegeben ist durch die Gleichung

$$W(c) \sim e^{-\frac{(\ln c - m)^2}{2\sigma^2}}$$

wobei σ die Breite der Gaussverteilung charakterisiert. Umgezeichnet in einen linearen Masstab in c bedeutet das aber, dass die Wahrscheinlichkeitskurve sehr unsymmetrisch nach hohen Konzentrationen ist (Bild 3). Messungen der α-Aktivität an alpinen Sanden, die etwa je zur Hälfte vom Uran und vom Thorium herrührt, haben ergeben, dass die Halbwertsbreite Δ der logarithmischen Gaussverteilung etwa einem Faktor 1,4 entspricht. Bei diesen Arbeiten, die in grosszügiger Weise von der Firma Gebrüder Sulzer, Winterthur, unterstützt worden sind, hat sich gezeigt, dass sich noch in grossen Mengen Sande finden, die ein Uranäquivalent von 60 g U pro t haben und in fast unbegrenzten Mengen vorkommen, während der häufigste Wert bei einem Uranäquivalent von etwa 14 g U pro t liegt. Das sogenannte Uranäquivalent der α-Messung ist diejenige Urankonzentration, die man erhielte, wenn die ganze α-Aktivität vom Uran und nicht vom Thorium herrühren würde. Da die Häufigkeit des Thoriums etwa dreimal grösser ist als die des Urans, bedeutet das, dass der Durchschnittgehalt der Sande des Aare-Kristallins sich zu etwa 7 g U pro t und 21 g Th pro t ergeben hat, dass also diese Sande 60 mal mehr Energie enthalten als Kohle.

Die Gültigkeit der hier angeführten semilogarithmischen Gaussverteilung ist von mancher Seite angezweifelt worden. So nimmt *Jeffreys* statt dessen eine sogenannte Pearsonkurve vom Typus III an. Für unsere Betrachtungen ist dieser Punkt nicht wesentlich, da auch diese Kurve einen langen Schwanz nach hohen Konzentrationen besitzt. Wichtig für uns ist nur, dass in grossen Mengen Sande vorkommen, deren Konzentration vier- bis sechsmal höher als der Mittelwert ist. Uebrigens

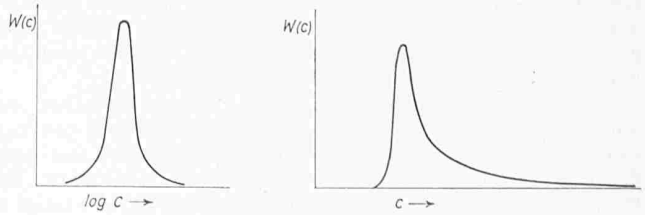

Bild 3. Wahrscheinlichkeitsverteilung der Urankonzentrationen

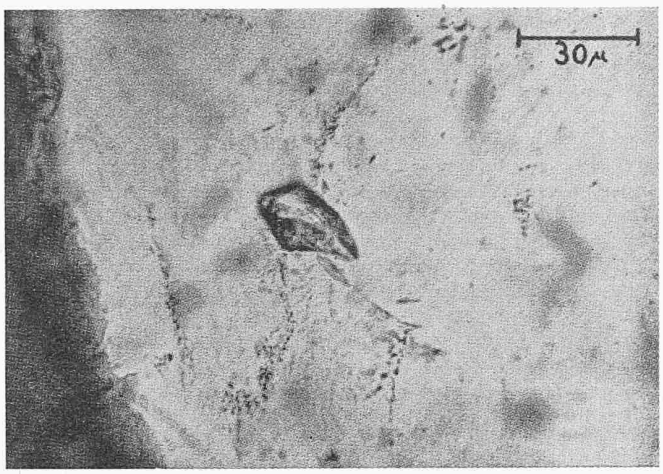

Bild 4. Dünnschliff eines Elba-Granits mit einem Zirkoneinschluss im Polarisationsmikroskop

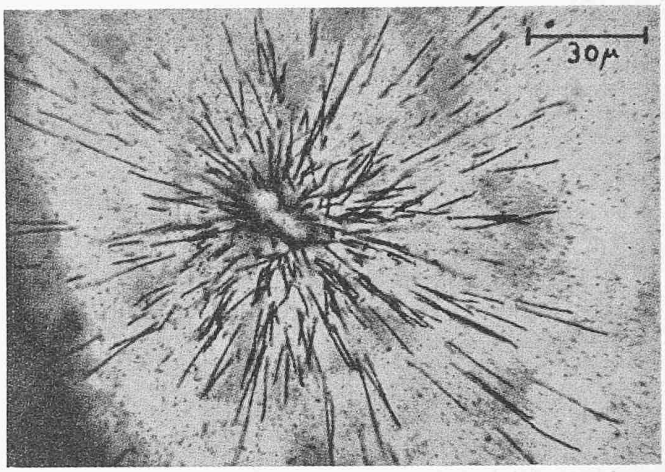

Bild 5. Zu Bild 4 gehörige Mikrophotographie einer Kernspur-Emulsion, die einige Wochen auf den Dünnschliff aufgelegt war. Die Spuren der α-Teilchen gehen vom Zirkoneinschluss aus

lässt sich mathematisch zeigen, dass eine semilogarithmische Gaussverteilung immer dann zustande kommt, wenn viele kleine Ursachen statistisch zusammen wirken, die irgend einen Parameter proportional zu seinem schon vorhandenen Wert vergrössern oder verkleinern können. Deshalb findet sich in vielen Fällen diese Verteilungskurve, sie gilt für die Grössenverteilung von Fliegenbeinen, von Unfallschäden bei Automobilen, für die Vermögensverteilung bis zu nicht zu grossen Höhen usw.; und es lässt sich auch theoretisch begründen, dass sie für die Konzentration seltener Elemente gilt. Dass wir hier von Sanden gesprochen haben, und zwar von denen unseres Alpenkristallins, hat seinen Grund darin, dass man, wenn man an eine praktische Ausnutzung der in unseren alpinen Graniten in Form von Uran und Thorium steckenden Energien gehen wird, es am günstigsten sein wird, diejenigen Materialien zu wählen, an denen die Natur selbst schon einen grossen Teil der Zerkleinerungs- und der Transportarbeit geleistet hat. Das ist gerade bei den Sanden der Fall.

Wir wollen uns nun der Frage zuwenden, wie man es anstellen muss, um aus den Graniten und Gneisen, bzw. deren Sanden, die doch immerhin sehr geringen Mengen Uran und Thorium herauszuholen. Hierzu müssen wir uns fragen, in welchen Komponenten des Urgesteins das Uran und das Thorium enthalten sind. *Vernadsky* hat schon vor langer Zeit das Prinzip der sogenannten «Allgegenwart» auch der seltenen Elemente aufgestellt, und wir hatten gesehen, dass jeder Pflasterstein soviel an diesen Elementen enthält, dass ihr Energieinhalt den der Kohle um das 40- bis 50fache übertrifft. Ist diese «Allgegenwart» von Uran und Thorium nun ein chemisches oder ein mineralogisches Phänomen? Mit anderen Worten: ist die angeführte Konzentration dieser Elemente gleichmässig auf das ganze Gestein verteilt, oder ist es in ganz bestimmten Komponenten konzentriert? Die Arbeiten von *Evans* und *Keevil, Hurley* und *Larsen,* und vor allem die mit der photographischen Methode der Kernemulsionen durchgeführten Arbeiten von *Coppens,* Mme *Hée* und *Picciotto* und seiner Schule haben eingehend gezeigt, dass praktisch der ganze Uran- und Thoriumgehalt der Granite zu einem kleinen Teil zwischen den Korngrenzen der Mikrokristalle sitzt, und zum weitaus grössten Teil auf einige wenige Schwermineralien konzentriert ist. In den quantitativ von *Picciotto* untersuchten Graniten aus den Vogesen (Lac Blanc) und aus Elba sind 18 % der Elemente Uran und Thorium zwischen den Korngrenzen, und 54 % in einigen wenigen Schwermineralien enthalten. Aehnliche quantitative Befunde liegen für den Adamellogranit sowie für alle bisher untersuchten Granite vor. Bild 4 zeigt einen Dünnschliff eines Elba-Granits, in dem ein dem Mineralogen im Polarisationsmikroskop deutlich erkennbares Zirkonkristall sichtbar ist. In der dazugehörigen Photographie einer Kernemulsion, in der sich die Bahnspuren jedes während der Belichtungszeit ausgesandten α-Teilchens durch einen kurzen schwarzen Strich sichtbar machen, zeigt sich, dass in der Tat das kleine Zirkonkristall eine gegenüber dem Durchschnittsgehalt des Gesteins sehr viel höhere α-Aktivität besitzen muss, Bild 5.

In den Sanden müssen wir damit rechnen, dass die zwischen den Korngrenzen sitzende Aktivität vom Wasser weitgehend weggespült ist. *H. Brow* und seine Mitarbeiter haben gezeigt, dass etwa 10 % des Uran- und Thoriumgehalts eines Granitpulvers sich durch Extraktion mit 10 % Salpetersäure extrahieren lassen. Weitaus der grösste Teil an Uran und Thorium ist aber in einigen wenigen Schwermineralien enthalten, die selbst nur in einem Gehalt von etwa 10^{-4} in den Graniten und Gneisen oder deren Sanden vorkommen. Diese Schwermineralien sind in erster Linie der Zirkon, der Sphen oder Titanit, der Apatit, der Xenotim, der Orthit, der Riebeckit, der Monazit und einige andere Schwermineralien ähnlichen Charakters. Alle diese Mineralien haben eine gemeinsame Eigenschaft: ihre Dichte ist grösser als 3 bis 3,5 g/cm³, ist also wesentlich höher als die Durchschnittsdichte der Granite und deren Sande, die etwa 2,75 beträgt.

Durch irgend ein Verfahren der Schwereseparation, sei es durch Sedimentation in Bromoform, durch Schütteltische oder durch Prozesse, wie sie von der Goldwäscherei her gut bekannt sind, lassen sich die Zirkone, Titanite und die anderen Schwermineralanteile sehr leicht abtrennen. Es war auf diese Weise möglich, Schwerefraktionen mit einem Uranäquivalent von mehreren Promille bis zu einem Prozent zu erhalten, also eine Grössenordnung, die heute schon als abbauwürdig gelten darf. An der brasilianischen Küste gibt es grössere Lagerstätten von Sand, der äusserst reich an Zirkon und Monazit ist. Offenbar handelt es sich da ursprünglich auch um gewöhnlichen Sand, der aber, weil er früher einmal an der Küstenlinie lag, durch die Meeresbrandung immer wieder durchgearbeitet worden ist, so dass sich die Schwermineralanteile, vor allem der Zirkon und Monazit sehr stark angereichert haben. Mit grossen Baggern wird der Sand gesammelt, worauf die wertvollen Komponenten, nämlich der Zirkon und Monazit, in Schüttelmaschinen und Magnetscheidern getrennt werden. Für den ganzen Aufarbeitungsbetrieb sind nur 5 bis 10 Mann erforderlich, und es werden dort etwa 30 t Thorium und 2 bis 3 t Uran jährlich gefördert. Wichtig ist hierfür, dass gerade das Zirkonmetall technologisch immer mehr an Bedeutung gewinnt, und zwar gerade in Zusammenhang mit dem Bau von Reaktoren. Es scheint also, dass, wenn einmal die Abtrennung der Schwermineralien durchgeführt ist, die Ausbeute an Zirkon und Titan schon allein die Aufarbeitung dieser Fraktionen als Uran- und Thoriumerze wirtschaftlich machen wird.

Ein ähnlicher Fall liegt bei den Riebeckit-Graniten in Nigeria vor. Diese haben ein Uranäquivalent von etwa 60 g pro t, aber die Aufarbeitung des Granits auf das seltene Element Niobium macht schon heute ihre Verarbeitung wirtschaftlich. Auch in unseren Bergen haben wir Sand-Deponien, bei denen durch die zufällige Gestaltung eines Wasserlaufes an einigen Stellen die Schwermineralanteile soweit angereichert sind, dass wir Uranäquivalente bis zu etwa 90 g pro t gefunden haben. Ich glaube, dass es sich heute schon lohnt, an einigen Stellen unserer Flusstäler, z. B. beim Zufluss zu den Stauseen, wo grosse Mengen Sand abgelagert werden, die

Wasserläufe so zu lenken, dass eine künstlich gelenkte Anreicherung der Schwermineralanteile eintritt. Es ist ganz sicher, dass man in nicht zu ferner Zukunft dazu übergehen wird, immer ärmere Uranerze auszubeuten. Wichtig ist die geochemische Feststellung, dass der Energieinhalt unserer Urgesteine in Form von Uran und Thorium eine Reserve darstellt, die so gewaltig ist, dass sie sich kaum abschwächen lässt. Der berühmte Geochemiker Harrison Brown entwirft in seinem Buch «The Challenge of Man's Future» und einem kleinen Exposé über die Fragen der Energie- und Rohstoffreserven das Bild einer zukünftigen Menschheit, deren Zahl sich auf etwa 50 Milliarden stabilisiert haben mag. Bei einem Energieverbrauch von etwa 3 kW pro Kopf, der also demjenigen der Schweiz entspricht, würde schliesslich die Menschheit alle ihre nötigen Rohstoffe in den Graniten finden. Die Energie dazu kann das Uran und Thorium der Granite liefern und die Menschheit würde sich gewissermassen mit einer Rate von etwa 30 cm pro Jahrhundert in den Granit hineinfressen.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *G. Houtermans*, Physikalisches Institut der Universität, Bern, Sidlerstrasse 5.

Zum ETH-Tag 1956

DK 378.962:130.2

Je und je bildete die Rede des Rektors den Höhepunkt der Jahresfeiern unserer alma mater. Nachdem 1953 der Professor für deutsche Sprache und Literatur, Dr. *Karl Schmid*, das Rektorat übernommen hatte und es seither mit Weitblick, Verständnis und starker Hand führt, sind die Rektoratsreden zu einem bedeutungsvollen Ereignis geworden. Es war zu erwarten, dass Rektor Schmid, der nun im vierten und damit letzten Amtsjahr steht, in seiner Rede den Bogen seiner Betrachtungen über das sonst übliche Mass hinaus erweitern würde, um die Gegenwartslage aus der Perspektive zu beleuchten, aus der sie in ihren tieferen Zusammenhängen und in der Bewegungsrichtung des Geschehens verstanden werden kann. Und wahrlich, man wurde nicht enttäuscht! Wohl stellte der Vortrag *«Neuere Aspekte der Geistesgeschichte»* hohe Anforderungen, und man musste mit der tiefenpsychologischen Terminologie gut vertraut sein, um ihm folgen zu können. Solche Kenntnis darf aber heute an einer Hochschule vorausgesetzt werden, an der seit langem Psychologie gelehrt wird und deren Absolventen in so hohem Masse dazu bestimmt sind, Menschen aller Schichten zu führen.

Die Rede des Rektors wird, wie üblich, in den «Kultur- und staatswissenschaftlichen Schriften der ETH» veröffentlicht werden. Es wäre vermessen, hier über deren Inhalt zu berichten. Nur *ein* Gedanke sei hervorgehoben, der der Synthese des Denkens. Damit ist folgendes gemeint: In der etwa seit Hegel üblich gewordenen rationalen Geschichtsbetrachtung und Geschichtsdeutung ist das Interesse der Historiker auf den Ablauf der sichtbaren Tatsachen und ihre kausalen Zusammenhänge gerichtet. Wenn sich diese wie kontinuierlich verlaufende Kurven rationaler Grössen in Funktion der Zeit verfolgen lassen, glaubt man, Geschichte zu verstehen.

Dieser Denkart stellt Wilhelm Dilthey eine innere Schau entgegen, die von den in der Tiefe der Menschenseele wirksamen Mächten ausgeht und z. B. Katastrophen wie den Faschismus, den Nationalsozialismus, den russischen Kommunismus usw. als Racheaktionen autonomer Mächte aus dem kollektiven Unbewussten erkennt, die sich dort durch Verdrängung (Unterdrückung) oder andere, die wesensgemässe Entwicklung hemmende Vergewaltigungen gebildet haben.

Beide Denkarten haben ihre Berechtigung. Das eigentliche Verständnis der geistesgeschichtlichen Ereignisse reift nach der Meinung des Rektors in dialektischem Spiel zwischen ihnen. Dadurch ergibt sich eine Synthese, die das Gestrüpp unseres Zeitgeschehens zu lichten verspricht und gestattet, Standort und Bewegungsrichtung neu zu ermitteln.

Der Rektor sprach mit der wissenschaftlichen Objektivität eines neutralen Beobachters, formvollendet, tiefgründig, über der Sache stehend. So schien es. Dahinter spürte man auch noch anderes: Besorgnis, Mahnung und Vermächtnis. Die Krise in der geistesgeschichtlichen Denkart ist Symptom der Lebenskrise, in der wir alle stehen, die sich auf allen Lebensgebieten abzeichnet, die alles in Frage stellt, alles in seiner Existenz bedroht: Hoch ist das Ethos des technisch Schaffenden, den Menschen zu dienen; aber erschreckend und tief demütigend die nüchterne Feststellung, dass das Geschaffene und die Schaffenden immer wieder missbraucht werden, im Kleinen und im Grossen und im ganz Grossen, und dass alle menschliche Klugheit und aller gute Wille nicht ausreichen, die zerstörerischen Mächte zu bändigen.

Die Verabsolutierung der Ratio, in der man in der westlichen Welt seit der Aufklärung lebt, hat zur Aufstellung einer Arbeitshypothese vom Menschen geführt, wie sie sich etwa im Hegelschen Idealismus ausdrückt, und nach der der Mensch nur in seinen vernünftigen, logischen, intellektuellen, geistig-hellen Komponenten gesehen und ernst genommen wird, während die irrationalen, mystischen, erotischen, seelisch-dunkeln Wesensbestandteile missachtet und verdrängt werden. So musste es zur Bildung jener autonomen Mächte kommen, die alles bedrohen und in Frage stellen. Noch hält man in unsern Lehranstalten sowie in der allgemeinen Lebenspraxis an dieser meist unbewusst übernommenen Hypothese fest. Aber schon ist der epochale Durchbruch geschehen — und Zürich ist einer der Hauptschauplätze dieses Geschehens —, der die Unhaltbarkeit solcher Modellvorstellungen offenbar machte. Die Neuorientierung, die sich notwendigerweise daraus ergibt, steht heute noch aus. Die Rede des Rektors weist auf die Richtung hin, in der sie zu vollziehen ist: Synthese der beiden Denkarten. Und damit Integration des Verdrängten. Daraus wird ein neues Bild des Menschen hervorgehen, das dem eigentlichen Wesen des Menschseins besser entspricht als das alte. Und dieses Bild wird neue Zielsetzungen bewirken, neuartige Entscheidungen herbeiführen und das Leben in allen Feldern menschlicher Aktivität neu formen. Die Mahnung geht also dahin, die massgebenden Integrationen im Leben des einzelnen wie der Gesamtheiten zu vollziehen. Sie betrifft alles Leben, auch das der Hochschule.

Denn auch dieses leidet unter der allgemeinen Krise unseres Jahrhunderts. Und die Hochschule wird die Mahnung, sich der Integration zu stellen, besonders ernst nehmen müssen. Denn in ihr empfangen die Männer, die morgen führend sein werden, die entscheidenden Eindrücke, hier geschehen die massgebenden Begegnungen, sie säht, was morgen blühen und übermorgen Frucht bringen wird, gute und böse.

Aus der Rede des Rektors geht hervor, dass mit dem bisherigen Bild des Menschen nicht durchzukommen ist. Was als humanistisches Bildungsideal den heutigen Lehrplänen und Unterrichtsmethoden zu Grunde liegt, entspricht weder echtem Humanismus noch der ganzen Wirklichkeit des Lebens. Theoretisch weiss jeder, dass die wissenschaftliche Objektivität des Forschers und das schöpferische Gestalten des Ingenieurs durch das Bewusstsein persönlicher Verpflichtung und letzter Verantwortlichkeit als Mensch ergänzt werden müssen. Praktisch ist das mit rationaler Erkenntnis der Notwendigkeit, gutem Willen, hohem Ethos und Begeisterung für die gute Sache nicht zu leisten. Die Auseinandersetzung mit den Mächten des Unbewussten, die Integration des Verdrängten sowie die Erweiterung der Person und der menschlichen Gemeinschaften in vertikaler Richtung — entsprechend der Rede am ETH-Tag 1953 — sind ebenso unerlässliche Voraussetzungen dafür. Es geht auch an der Hochschule um das Ringen nach einem neuen Bild des Menschen, um den Vollzug der Synthese von bewährtem Bisherigem und wieder neu Erkanntem, von Bewusstem und Unbewusstem, von Fassbarem und Unfassbarem; es geht um die Herstellung einer neuen Ganzheit und Einheit des Menschen als Geschöpf.

Wer nur an der Abteilung für Freifächer unterrichtet, vermag kaum die geistige Haltung seiner Hörer nachhaltig genug zu beeinflussen, geschweige denn jene seelische Wandlung einzuleiten, die jetzt not tut. Ganz anders der Fachprofessor. Viel enger lebt er im Konstruktionssaal und im Laboratorium mit seinen Schülern zusammen; er lebt in der selben Welt und spricht die selbe Sprache wie diese. So musste der Rektor die seltene Gelegenheit wahrnehmen, seine Anliegen den Fachlehrern mitzuteilen, dass sie es weitergeben. Das ist sein Vermächtnis. Möge die Verpflichtung verstanden werden, die es enthält, solange uns noch Wirkmöglichkeiten offen stehen! *A. O.*

*

Ehrenpromotionen. Der Rektor leitete die Verkündung der Ehrenpromotionen mit folgenden Worten ein:

«Art. 14 der Promotionsordnung für die Erlangung der Doktorwürde an der ETH lautet: ‚In Anerkennung hervorragender Verdienste um die Förderung der Wissenschaften